

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号 ⑦
特開2001-126421
(P2001-126421A)

(43) 公開日 平成13年5月11日 (2001.5.11)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

G 1 1 B 21/10

G 1 1 B 21/10

L 5 D 0 9 6

G 0 5 B 11/32

G 0 5 B 11/32

F 5 H 0 0 4

11/36

11/36

C 5 H 3 0 3

13/02

13/02

L

C

審査請求 未請求 請求項の数25 O L (全 22 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願平11-309837

(22) 出願日

平成11年10月29日 (1999. 10. 29)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 大貫 善数

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ

ー株式会社内

(72) 発明者 石岡 秀昭

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ

ー株式会社内

(74) 代理人 100094053

弁理士 佐藤 隆久

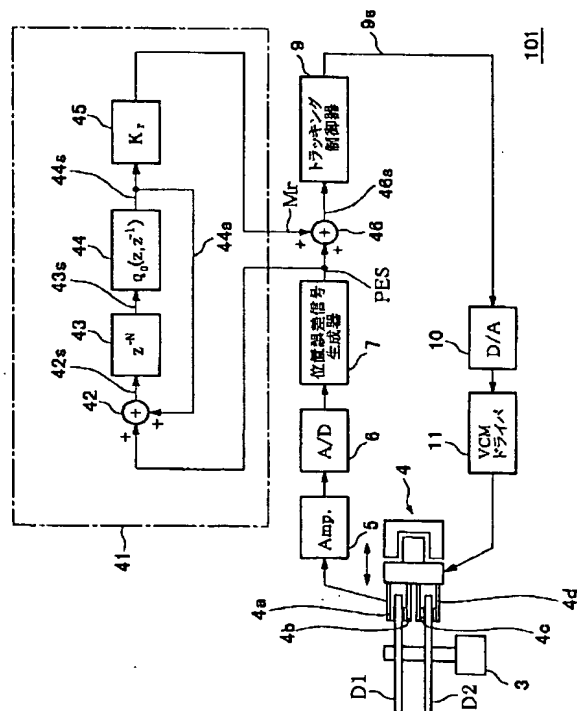
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ディスクドライブ装置およびディスクドライブ装置のヘッド位置決め制御方法

(57) 【要約】

【課題】 サーボ制御系に入力される記録媒体の回転に同期した周期的な外乱を十分抑制でき、かつ、サーボ制御系の安定性を同時に確保できるディスクドライブ装置およびディスクドライブ装置のヘッド位置決め制御方法を提供する。

【解決手段】 位置誤差信号 P E S にフィルタ 4 4 の出力信号 4 4 s を加算し、遅延記憶素子 4 3 に順次記憶する。遅延記憶素子 4 3 は、記憶した信号 4 2 s を一回転周期分だけ遅延させ、フィルタ 4 4 に出力し、得られた信号 4 4 s に乗算器 4 5 でゲイン K r を乗じて得た補正指令 M r を遅延していない位置誤差信号 P E S とを加算して新たな内部状態信号 4 2 s として遅延記憶素子 4 3 に順次入力するとともに、補正指令 M r を遅延していない位置誤差信号 P E S にフィードフォワード的に加算して操作量 4 6 s とする。操作量を補償して磁気ヘッド 4 a ~ 4 d のトラッキング方向の位置決め制御を行う。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ディスク状の回転記録媒体を回転駆動する駆動手段と、

前記記録媒体の記録面に対向して配置され、前記記録媒体の記録面に記録されたデータの再生または前記記録面へのデータの記録の少なくとも一方を行う記録／再生手段と、

前記記録／再生手段を前記記録面に対して移動させるアクチュエータと、

入力される操作量に応じて前記アクチュエータを駆動し、前記記録／再生手段の前記記録面に対する位置を制御する位置制御手段と、

回転する前記記録面に対する前記記録／再生手段の目標位置からの位置誤差を検出して出力する位置誤差検出手段と、

入力される内部状態信号を順次記憶し、前記記録媒体の回転周期分遅延させて出力する遅延記憶手段と、

前記遅延記憶手段の出力信号と遅延していない前記位置誤差出力とを加算して新たな内部状態信号として前記遅延記憶手段に出力する第 1 の加算器と、

前記遅延記憶手段の出力信号と遅延していない前記位置誤差出力とを加算して前記操作量として前記位置制御手段に出力する第 2 の加算器と、

前記第 1 の加算器に入力される前記位置誤差出力または前記第 2 の加算器に入力される前記遅延記憶手段の出力信号の少なくとも一方に所定のゲインを乗じる乗算器とを有するディスクドライブ装置。

【請求項 2】 前記遅延記憶手段から出力された一または複数の出力信号に対して所定のフィルタ演算を施して前記第 1 および第 2 の加算器に出力する低域通過フィルタをさらに有する請求項 1 に記載のディスクドライブ装置。

【請求項 3】 前記乗算器のゲインは、0～1 のいずれかである請求項 1 に記載のディスクドライブ装置。

【請求項 4】 前記低域通過フィルタは、FIR フィルタで構成される請求項 2 に記載のディスクドライブ装置。

【請求項 5】 前記乗算器は、異なるゲインを持つ複数の乗算器からなり、

使用する乗算器を選択的に切り換えるゲイン切換手段をさらに有する請求項 1 に記載のディスクドライブ装置。

【請求項 6】 前記ゲイン切換手段は、前記位置誤差出力の大きさに応じて前記使用する乗算器を切り換える請求項 5 に記載のディスクドライブ装置。

【請求項 7】 相対的にゲインの大きい第 1 の乗算器と、相対的にゲインの小さい第 2 の乗算器とを有し、

前記ゲイン切換手段は、前記位置誤差出力が所定の値よりも大きい場合には、第 1 の乗算器を選択し、前記位置誤差出力が所定の値よりも小さい場合には、第 2 の乗算器を選択する請求項 6 に記載のディスクドライブ装置。

【請求項 8】 前記記録媒体の異なる記録面、および／または、前記駆動手段によって共通的に回転する複数の前記記録媒体に対して対向配置される複数の前記記録／再生手段と、

前記複数の前記記録／再生手段を共通的に移動させるアクチュエータと、を備え、

前記ゲイン切換手段は、前記記録／再生手段によって記録または再生を行う記録媒体または記録面の変更時に、前記第 1 の乗算器を選択し、前記位置誤差出力が所定の値に収束したら前記第 2 の乗算器を選択する請求項 7 に記載のディスクドライブ装置。

【請求項 9】 前記駆動手段に対して前記記録媒体を交換可能となっている請求項 1 に記載のディスクドライブ装置。

【請求項 10】 ディスク状の回転記録媒体を回転駆動する駆動手段と、

前記記録媒体の記録面に対向して配置され、前記記録媒体の記録面に記録されたデータの再生または前記記録面へのデータの記録の少なくとも一方を行う記録／再生手段と、

前記記録／再生手段を前記記録面に対して移動させるアクチュエータと、

入力される操作量に応じて前記アクチュエータを駆動し、前記記録／再生手段の前記記録面に対する位置を制御する位置制御手段と、

回転する前記記録面に対する前記記録／再生手段の目標位置からの位置誤差を検出する位置誤差検出手段と、前記位置誤差出力に含まれる周期的外乱成分を抑制する補正指令を生成する異なる特性の複数の学習制御手段と、

前記各学習制御手段で生成されたいずれかの補正指令と前記位置誤差出力とを加算して前記操作量として前記位置制御手段に出力する第 1 の加算手段と前記各学習制御手段で生成される補正指令を切換信号に応じて選択して前記第 1 の加算手段に出力する切換手段とを有するディスクドライブ装置。

【請求項 11】 前記複数の学習制御手段は、前記位置誤差出力に含まれる周期的外乱成分を一定の値に収束させる収束速度が相対的に速い第 1 の学習制御手段と、

前記位置誤差出力が一定の値に収束した定常状態での安定性能が相対的に高い第 2 の学習制御手段とを有する請求項 10 に記載のディスクドライブ装置。

【請求項 12】 第 2 の学習制御手段は、前記位置誤差出力が一定の値に収束した定常状態での安定性能が相対的に高く、かつ、前記位置誤差出力が一定の値に収束した定常状態での前記位置誤差出力に含まれる周期的外乱成分に対する抑圧性能が相対的に高い請求項 11 に記載のディスクドライブ装置。

【請求項 13】 前記切換手段は、前記位置誤差出力の大きさに応じて前記第 1 の加算手段に補正指令を出力する

前記学習制御手段を選択する請求項 11 に記載のディスクドライブ装置。

【請求項 14】前記記録媒体の異なる記録面、および／または、前記駆動手段によって共通的に回転する複数の前記記録媒体に対して対向配置される複数のヘッドと、前記複数のヘッドを共通的に移動させるアクチュエータと、を備え、
前記切換手段は、前記ヘッドによって記録または再生を行う記録媒体または記録面の変更時毎に、前記第 1 の学習制御手段を選択し、前記位置誤差出力が所定の値に収束したら前記第 1 の学習制御手段を選択する請求項 11 に記載のディスクドライブ装置。

【請求項 15】前記第 1 および第 2 の学習制御手段は、入力される内部状態信号を順次記憶し、前記記録媒体の回転周期分遅延させて出力する遅延記憶手段と、前記遅延記憶手段から出力された一または複数の出力信号に対して所定のフィルタ演算を施して前記第 1 の加算手段に出力する低域通過フィルターと、前記低域通過フィルターの出力信号と遅延していない前記位置誤差出力とを加算して新たな内部状態信号として前記遅延記憶手段に出力する第 2 の加算手段と、前記第 1 の加算手段に入力される前記位置誤差出力または前記第 2 の加算手段に入力される前記低域通過フィルターの出力信号の少なくとも一方に、所定のゲインを乗じる乗算器とを有する請求項 12 に記載のディスクドライブ装置。

【請求項 16】前記第 1 および第 2 の学習制御手段の有する低域通過フィルターは、それぞれ周波数特性が異なる請求項 15 に記載のディスクドライブ装置。

【請求項 17】前記第 2 の学習制御手段の低域通過フィルターは、前記第 1 の学習制御手段の低域通過フィルターの通過帯域よりも高い周波数の通過帯域を有する請求項 16 に記載のディスクドライブ装置。

【請求項 18】前記乗算器は、相対的にゲインの大きい第 1 の乗算器と、相対的にゲインの小さい第 2 の乗算器とからなり、前記第 1 および第 2 の乗算器を選択的に切り換えて前記加算器に出力するゲイン切換手段をさらに有する請求項 12 に記載のディスクドライブ装置。

【請求項 19】前記低域通過フィルターは、FIR フィルターで構成される請求項 15 に記載のディスクドライブ装置。

【請求項 20】前記駆動手段に対して前記記録媒体を交換可能となっている請求項 10 に記載のディスクドライブ装置。

【請求項 21】ディスク状の回転記録媒体に記録されたデータの再生または前記回転記録媒体へのデータの記録の少なくとも一方を行うヘッドを回転する前記回転記録媒体の目標位置に追従させるディスクドライブ装置のヘッド位置決め制御方法であって、

回転する前記回転記録媒体の記録面に対する前記ヘッド

の目標位置からの位置誤差を検出するステップと、

入力される内部状態信号を記憶手段に順次記憶し、前記記録媒体の回転周期分遅延させて前記記憶手段から出力するステップと、

前記記憶手段から出力された一または複数の前記内部状態信号を低域通過フィルターに通して、得られた結果信号と遅延していない前記位置誤差出力とを加算して新たな内部状態信号として前記記憶手段に順次入力するステップと、

10 前記結果信号を遅延していない前記位置誤差出力にフィードフォワード的に加算して操作量とするステップと、前記操作量を補償して前記ヘッドの位置決め制御を行うステップとを有するディスクドライブ装置のヘッド位置決め制御方法。

【請求項 22】前記位置誤差出力にフィードフォワード的に加算する前記結果信号に 0～1 のいずれかの値をとるゲインを乗算して当該位置誤差出力に加算する請求項 21 に記載のディスクドライブ装置のヘッド位置決め制御方法。

20 【請求項 23】ディスク状の回転記録媒体に記録されたデータの再生または前記回転記録媒体へのデータの記録の少なくとも一方を行うヘッドを回転する前記回転記録媒体の目標位置に追従させるディスクドライブ装置のヘッド位置決め制御方法であって、
回転する前記記録面に対する前記ヘッドの目標位置からの位置誤差を検出するステップと、

前記位置誤差出力に含まれる周期的外乱成分を一定の値に収束させる収束速度が相対的に速い第 1 の学習制御手段および前記位置誤差出力が一定の値に収束した定常状態での前記位置誤差出力に含まれる周期的外乱成分に対する抑圧性能が相対的に高い第 2 の学習制御手段により前記位置誤差出力に含まれる周期的外乱成分を抑制する補正指令を生成するステップと、

30 前記第 1 および第 2 の学習制御手段で生成した補正指令を選択的に前記位置誤差出力に加算して操作量として出力するステップと、

前記操作量を補償して前記ヘッドの位置決め制御を行うステップとを有するディスクドライブ装置のヘッド位置決め制御方法。

40 【請求項 24】前記補正指令を選択的に前記位置誤差出力に加算するステップは、前記位置誤差出力の大きさが所定の値よりも大きい場合は、前記第 1 の学習制御手段からの補正指令を選択して前記位置誤差出力に加算し、前記位置誤差出力の大きさが所定の値以下に収束したら前記第 2 の学習制御手段からの補正指令を選択して前記位置誤差出力に加算する請求項 23 に記載のディスクドライブ装置のヘッド位置決め制御方法。

【請求項 25】前記ディスクドライブ装置は、前記記録媒体の異なる記録面、および／または、前記駆動手段によって共通的に回転する複数の前記記録媒体に対して対

向配置される複数のヘッドと、
前記複数のヘッドを共通的に移動させるアクチュエータと、を備え、
前記補正指令を選択的に前記位置誤差出力に加算するステップは、前記ヘッドによって記録または再生を行う記録媒体または記録面の変更時毎に、前記第 1 の学習制御手段からの補正指令を選択して前記位置誤差出力に加算し、前記位置誤差出力が所定の値に収束したら前記第 2 の学習制御手段からの補正指令を選択して前記位置誤差出力に加算する請求項 24 に記載のディスクドライブ装置のヘッド位置決め制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気ディスク装置、光磁気ディスク装置、光ディスク装置等のディスクドライブ装置と、ディスクドライブ装置のヘッド位置決め制御方法とに関する。

【0002】

【従来の技術】磁気ディスク装置では、記録媒体としての磁気ディスクに対して情報を記録し、あるいは、磁気ディスクから情報を再生する磁気ヘッドが搭載されたスライダを回転する磁気ディスク内の目標位置に追従させるトラッキングサーボ制御が必要である。従来の媒体固定型の磁気ディスク装置においては、装置が組み上がった後で、記録媒体としての磁気ディスクにトラッキングサーボ情報を書き込んでいた。このように、磁気ディスクを回転させるスピンドルモータに磁気ディスクを固定した状態で、磁気ディスクにトラッキングサーボ情報を書き込んだ場合には、トラッキングサーボ系に入力される磁気ディスクの回転に同期した外乱である回転周期外乱 (Repeatable Runout) はあまり大きくなく、トラッキングサーボ系を PID 補償器、 $H\infty$ 補償器等を用いた閉ループ系で構成して十分な制御帯域をとることにより、回転周期外乱成分を抑圧することができた。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、磁気ディスクを磁気ディスク装置に対して交換可能な媒体交換可能型の磁気ディスク装置では、磁気ディスクを入れ替える度に、磁気ディスクとスピンドルモータの回転軸との偏心量が増加しやすいため、これに応じて回転周期外乱の 1 次成分が変わりやすい。また、磁気ディスクにトラッキングサーボ情報を書き込んだ際のスピンドルモータの回転精度等に依存して、2 次以上の回転周期外乱成分も、媒体固定型の磁気ディスク装置と比較して、大きくなるケースが多い。

【0004】さらに、磁気ディスクの記録密度向上、磁気ディスク装置の小型化等のため、トラックピッチの狭小化が進んでおり、このトラックピッチの狭小化に応じて磁気ヘッドの位置決め精度への要求がより厳しくなっている。すなわち、トラックピッチの狭小化に応じて、

回転周期外乱が相対的に大きくなっている。このため、たとえば、PID 補償器を用いた閉ループ系のループゲインを上げて制御帯域を広げても、回転周期外乱成分の十分な除去が困難になってきており、また、2 次以上の回転周期外乱成分の抑制も十分に得られない。さらに、閉ループ系の安定性を確保するためには、制御帯域の拡大化にも限界がある。

【0005】本発明は、上述の問題に鑑みて成されたものであって、たとえば、磁気ディスク等のディスク状の記録媒体に対して磁気ヘッド等の記録再生手段を目標位置に追従させるサーボ制御系を備えたディスクドライブ装置において、サーボ制御系に入力される記録媒体の回転に同期した周期的な外乱を十分抑制でき、かつ、サーボ制御系の安定性を同時に確保できるディスクドライブ装置およびディスクドライブ装置のヘッド位置決め制御方法を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明のディスクドライブ装置は、ディスク状の回転記録媒体を回転駆動する駆動手段と、前記記録媒体の記録面に対向して配置され、前記記録媒体の記録面に記録されたデータの再生または前記記録面へのデータの記録の少なくとも一方を行う記録／再生手段と、前記記録／再生手段を前記記録面に対して移動させるアクチュエータと、入力される操作量に応じて前記アクチュエータを駆動し、前記記録／再生手段の前記記録面に対する位置を制御する位置制御手段と、回転する前記記録面に対する前記記録／再生手段の目標位置からの位置誤差を検出して出力する位置誤差検出手段と、入力される内部状態信号を順次記憶し、前記記録媒体の回転周期分遅延させて出力する遅延記憶手段と、前記遅延記憶手段の出力信号と遅延していない前記位置誤差出力とを加算して新たな内部状態信号として前記遅延記憶手段に出力する第 1 の加算器と、前記遅延記憶手段の出力信号と遅延していない前記位置誤差出力とを加算して前記操作量として前記位置制御手段に出力する第 2 の加算器と、前記第 1 の加算器に入力される前記位置誤差出力または前記第 2 の加算器に入力される前記遅延記憶手段の出力信号の少なくとも一方に、所定のゲインを乗じる乗算器とを有する。

【0007】本発明のディスクドライブ装置では、検出された位置誤差出力は、第 1 の加算器に入力され、第 1 の加算器では位置誤差出力と遅延記憶手段の出力信号である遅延した内部状態信号とが加算されて新たな内部状態信号として遅延記憶手段に入力される。すなわち、遅延記憶手段に記憶されて内部状態信号は、フィードバックされる。また、遅延記憶手段からの出力信号は、第 2 の加算器において遅延していない位置誤差出力にフィードフォワード的に加算されて位置制御手段に出力される。さらに、第 1 の加算器に入力される位置誤差出力または第 2 の加算器に入力される遅延記憶手段の出力信号

の少なくとも一方には所定のゲインが乗算される。このように構成される位置誤差検出手段から第2の加算器の出力までの伝達関数の特性は、ゲインがゼロに近い値の場合には、位置誤差出力が一定の値に収束した定常状態での位置誤差出力に含まれる周期的外乱成分に対する抑圧性能に優れる特性となり、ゲインが1に近づくにつれて位置誤差出力に含まれる周期的外乱成分を一定の値に収束させる収束速度が相対的に速い特性の伝達関数となる。

【0008】また、本発明のディスクドライブ装置は、ディスク状の回転記録媒体を回転駆動する駆動手段と、前記記録媒体の記録面に対向して配置され、前記記録媒体の記録面に記録されたデータの再生または前記記録面へのデータの記録の少なくとも一方を行う記録／再生手段と、前記記録／再生手段を前記記録面に対して移動させるアクチュエータと、入力される操作量に応じて前記アクチュエータを駆動し、前記記録／再生手段の前記記録面に対する位置を制御する位置制御手段と、回転する前記記録面に対する前記記録／再生手段の目標位置からの位置誤差を検出する位置誤差検出手段と、前記位置誤差出力に含まれる周期的外乱成分を抑制する補正指令を生成する異なる特性の複数の学習制御手段と、前記各学習制御手段で生成されたいずれかの補正指令と前記位置誤差出力とを加算して前記操作量として前記位置制御手段に出力する第1の加算手段と、前記各学習制御手段で生成される補正指令を切換信号に応じて選択して前記第1の加算手段に出力する切換手段とを有する。

【0009】好適には、前記複数の学習制御手段は、前記位置誤差出力に含まれる周期的外乱成分を一定の値に収束させる収束速度が相対的に速い第1の学習制御手段と、前記位置誤差出力が一定の値に収束した定常状態での安定性能が相対的に高い第2の学習制御手段とを有する。

【0010】本発明のヘッド位置決め制御方法は、ディスク状の回転記録媒体に記録されたデータの再生または前記回転記録媒体へのデータの記録の少なくとも一方を行うヘッドを回転する前記回転記録媒体の目標位置に追従させるディスクドライブ装置のヘッド位置決め制御方法であって、回転する前記回転記録媒体の記録面に対する前記ヘッドの目標位置からの位置誤差を検出するステップと、入力される内部状態信号を記憶手段に順次記憶し、前記記録媒体の回転周期分遅延させて前記記憶手段から出力するステップと、前記記憶手段から出力された一または複数の前記内部状態信号を低域通過フィルターに通して、得られた結果信号と遅延していない前記位置誤差出力とを加算して新たな内部状態信号として前記記憶手段に順次入力するステップと、前記結果信号を遅延していない前記位置誤差出力にフィードフォワード的に加算して操作量とするステップと、前記操作量を補償して前記ヘッドの位置決め制御を行うステップとを有す

る。

【0011】また、本発明のヘッド位置決め制御方法は、ディスク状の回転記録媒体に記録されたデータの再生または前記回転記録媒体へのデータの記録の少なくとも一方を行うヘッドを回転する前記回転記録媒体の目標位置に追従させるディスクドライブ装置のヘッド位置決め制御方法であって、回転する前記記録面に対する前記記録／再生手段の目標位置からの位置誤差を検出するステップと、前記位置誤差出力に含まれる周期的外乱成分を一定の値に収束させる収束速度が相対的に速い第1の学習制御手段および前記位置誤差出力が一定の値に収束した定常状態での前記位置誤差出力に含まれる周期的外乱成分に対する抑圧性能が相対的に高い第2の学習制御手段により前記位置誤差出力に含まれる周期的外乱成分を抑制する補正指令を生成するステップと、前記第1および第2の学習制御手段で生成した補正指令を選択的に前記位置誤差出力に加算して操作量として出力するステップと、前記操作量を補償して前記ヘッドの位置決め制御を行うステップとを有する。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

第1実施形態

図1は、本発明の第1の実施形態に係るディスクドライブ装置のトラッキングサーボ系の構成図である。図1において、ディスクドライブ装置1は、複数の磁気ディスクD1、D2と、磁気ディスクD1、D2を共通的に回転させるスピンドルモータ3と、磁気ディスクD1、D2の各面にそれぞれ対向配置された磁気ヘッド4a～4dと、磁気ヘッド4a～4dを磁気ディスクD1、D2のトラッキング方向に移動させるアクチュエータ4と、磁気ヘッド3から再生されたサーボ情報を含む再生信号を増幅する増幅器5と、増幅器5から出力されたアナログ信号をディジタル信号に変換するA/Dコンバータ6と、A/Dコンバータ6から出力されるディジタル信号に含まれるサーボ情報から磁気ヘッド4a～4dのうち再生中の磁気ヘッドと磁気ディスクD1およびD2の目標のトラックとの位置誤差を示す位置誤差信号PESを生成する位置誤差信号生成器7と、加算器8と、本発明の学習制御手段としての繰り返り制御器31と、トラッキング制御器9と、トラッキング制御器9から出力されたディジタル信号9sをアナログ信号に変換するD/Aコンバータ10と、D/Aコンバータ10から出力された信号に応じた駆動電流をアクチュエータ4に供給するドライバ11とを有する。なお、磁気ディスクD1、D2は本発明の回転記録媒体、スピンドルモータ3は本発明の駆動手段、磁気ヘッド3は本発明の記録／再生手段およびヘッド、位置誤差信号生成器7は本発明の位置誤差検出手段、トラッキング制御器9、D/Aコンバータ10およびドライバ11は本発明の位置制御手段、繰り返

返し制御器 31 は本発明の学習制御手段、加算器 8 は本発明の第 1 の加算手段のそれぞれ一具体例に対応している。

【0013】磁気ディスク D1、D2 には、あらかじめサーボ情報が記録あるいは刻印されている。上記サーボ情報は、たとえば、磁気ディスクの中心から放射状に広がる複数のサーボ領域を持ち、データ領域を一般的には等角度に分割し、そのデータ領域とデータ領域の間にサーボ情報を埋め込む、いわゆるデータ面サーボ方式のものや、あるいは、複数枚のディスクを持つ大容量型の磁気ディスク装置の場合には、そのうちの 1 枚のディスクの片面をサーボ情報専用の面とし、一面にサーボ情報を埋め込む、いわゆるサーボ面サーボ方式のもの等があるが、一般に、連続的、あるいは、間欠的に磁気ヘッド 4a~4d の位置情報が得られるものであればよい。また、磁気ディスク D1、D2 に形成するトラックの形状についても、同心円状に限定するものではなく、スパイラル状でもよい。また、磁気ヘッド 4a~4d を駆動するアクチュエータ 4 は、たとえば、いわゆるボイスコイルモータ (Voice Coil Motor) を用いる。さらに、磁気ディスク D1、D2 は、スピンドルモータ 3 に対して交換可能になっていても、スピンドルモータ 3 に対して常に固定されて使用されるものであってもよい。

【0014】磁気ヘッド 4a~4d のいずれかから再生されたサーボ情報は、増幅器 5 により増幅され、A/D コンバータ 6 によりデジタル化された後に、位置誤差信号生成器 7 に入力される。位置誤差信号生成器 7 は、入力された信号から位置誤差信号 P E S を生成する。この位置誤差信号 P E S は、トラッキング制御器 9 に入力され、トラッキング制御器 9 は位置誤差信号 P E S を補償して、アクチュエータ 4 への駆動出力を演算し、D/A コンバータ 10 へ出力する。D/A コンバータ 10 でアナログ化された駆動出力は、ドライバ 11 によって駆動電流に変換され、アクチュエータ 4 が駆動される。

【0015】ここで、繰り返し制御器 31 を用いない構成では、たとえば、スピンドルモータ 3 以外のスピンドルモータに磁気ディスク D1、D2 が装着された状態で磁気ディスク D1、D2 にサーボ情報が書き込まれると、これら磁気ディスク D1、D2 をスピンドルモータ 3 に装着すると、スピンドルモータ 3 の回転軸と磁気ディスク D1、D2 の回転中心がそれぞれ偏心し、磁気ディスク D1、D2 の記録/再生時には、位置誤差信号生成器 7 から出力される位置誤差信号 P E S にこの偏心に起因する回転に同期した周期的外乱およびこの周期的外乱の高次成分が含まれることになる。繰り返し制御器 31 は、上記位置誤差出力 P E S に含まれる周期的外乱成分を抑制する補正指令 M r を生成し、加算器 8 へ出力する。加算器 8 は、位置誤差信号生成器 7 から出力された位置誤差信号 P E S に補正指令 M r を加算して出力信号 8 s を操作量としてトラッキング制御器 9 へ出力する。

【0016】ここで、繰り返し制御器 31 の構成について説明する。繰り返し制御器 31 は、切換スイッチ 32 と、乗算器 33、34 と、遅延記憶素子 35 と、低域通過型のフィルター 36 と、切換信号生成器 37 とを有する。なお、切換スイッチ 32 および切換信号生成器 37 は本発明の切換手段の一具体例に対応しており、乗算器 33、34 は本発明の第 1 および第 2 の乗算器の一具体例に対応しており、フィルター 36 は本発明の低域通過フィルターの一具体例に対応しており、遅延記憶素子 35 は本発明の遅延記憶手段の一具体例に対応している。また、乗算器 33、遅延記憶素子 35 およびフィルター 36 によって本発明の第 1 の学習制御手段が構成されており、乗算器 34、遅延記憶素子 35 およびフィルター 36 によって本発明の第 2 の学習制御手段が構成されている。

【0017】切換スイッチ 32 は、固定接点 32c に加算器 8 からの出力信号 8 s が入力され、可動接点 32d が固定接点 32a または 32b に接続されることによって、出力信号 8 s を乗算器 33、34 のいずれか一方に出力する。可動接点 32d と固定接点 32a または 32b との接続の切換は、切換信号生成器 37 からの切換信号 37 s の入力に応じて行われる。

【0018】切換スイッチ 32 は、乗算器 33、34 への加算器 8 からの出力信号 8 s の入力の選択的な切り換えによって、乗算器 33、遅延記憶素子 35 およびフィルター 36、あるいは、乗算器 34、遅延記憶素子 35 およびフィルター 36 を通じて生成される補正指令 M r を切換信号 37 s に応じて選択して加算器 8 へ出力するように機能する。

【0019】切換信号生成器 37 は、位置誤差信号生成器 7 から位置誤差信号 P E S が入力され、位置誤差信号 P E S の大きさに基づいて切換信号 37 s を切換スイッチ 32 へ出力する。

【0020】乗算器 33、34 は、所定のゲインをそれぞれ有しており、入力された加算器 8 からの出力信号 8 s にゲインを乗じて遅延記憶素子 35 へ出力する。乗算器 33、34 のゲインは、0~1 のいずれかの値に設定され、また、乗算器 33 のゲインは乗算器 34 のゲインよりも大きい。具体的には、乗算器 33 のゲイン K r1 は 0.5~1 のいずれかの値に設定され、乗算器 33 のゲイン K r2 は 0~0.5 のいずれかの値に設定される。

【0021】遅延記憶素子 35 は、乗算器 33、34 のいずれかから順次出力される信号を記憶し、N サンプル遅延させたのちにフィルター 36 へ出力する。ここで、N は、磁気ディスク D1 または D2 の一回転あたりのサンプル数であり、通常は磁気ディスク 1 周当たりのサーボセクター数である。すなわち、遅延記憶素子 35 は、乗算器 33、34 のいずれかから順次出力される信号を記憶し、磁気ディスク D1 または D2 の一回転周期分だ

け時間的に遅延させてフィルタ 36 に出力する。遅延記憶素子 35 は、具体的には、少なくとも、過去 N 個のデータを記憶するメモリ、少なくとも N 段の FIFO バッファ、シフトレジスタ等から構成できる。

【0022】フィルタ 36 は、所定の周波数特性を持 *

$$Q(z, z^{-1}) = \frac{a_m z^m + a_{m-1} z^{m-1} + \dots + a_0 + a_1 z^{-1} + \dots + a_m z^{-m}}{2a_m + 2a_{m-1} + \dots + 2a_1 + a_0}$$

【0024】式 (1) からわかるように、フィルタ 36 のタップ数は $2m+1$ である。フィルタ 36 が演算を行うためには、遅延記憶素子 35 から出力されたデータ 35s が $2m+1$ 個必要となる。さらに、式 (1) からわかるように、N サンプル遅延した遅延記憶素子 35 から出力されたデータ 35s を基準として、m サンプル未来および過去のデータが必要になる。したがって、式 (1)、(2) より、実際には、遅延記憶素子 35 は、少なくとも $N+m$ 個のデータを記憶可能である必要がある。また、フィルタ 36 の演算結果は、補正指令 Mr として加算器 8 に出力される。

【0025】ここで、上記乗算器 33 または 34、遅延記憶素子 35 およびフィルタ 36 によってそれぞれ構成される繰り返し制御器の加算器 8 の入力から出力までの伝達関数 $C_1(z)$ は、乗算器 33 または 34 のゲインを K_r とすると、次式 (2) で表される。

【0026】

【数 2】

$$C_1(z) = \frac{1}{1 - K_r z^{-N} Q(z, z^{-1})}$$

【0027】図 2 は、伝達関数 $C_1(z)$ の周波数特性を示すボード線図であり、(a) はゲインを K_r を 0.1、(b) は K_r を 0.9 に設定した場合の周波数特性である。なお、説明の簡単化のために、磁気ディスクの 1 回転当たりのサンプリング数 $N=10$ 、フィルタ 36 の伝達関数 $q(z, z^{-1})=1$ とし、繰り返し制御サンプリング周波数を 10 kHz と設定した。

【0028】図 2 (a) からわかるように、ゲインを K_r を 0.1 を小さく設定すると、ゲイン特性 101 のピークが小さくなり、位相特性 102 の反転も小さくなる。一方、図 2 (b) からわかるように、ゲイン K_r を大きく設定すると、ゲイン特性 103 のピークが大きくなり、位相特性 104 の反転も大きくなる。なお、図 2 において、1 kHz に存在するゲイン特性のピークが磁気ディスクの偏心起因して発生する回転に同期した外乱の周波数に対応しており、さらに高周波帯域に存在するゲイン特性の各ピークが高次の周期的外乱に対応している。したがって、ゲイン特性のピーク値が大きいほど、周期的外乱の抑制効果は高い。

【0029】図 2 (a) および図 2 (b) を比較すると、ゲイン K_r が小さい場合には、回転に同期した外乱周波数でのゲイン特性 101 のピークが小さいが、回転

* つ低域通過型のデジタルフィルタである。フィルタ 36 の伝達関数 $q(z, z^{-1})$ は、たとえば、次式 (1) で示すような FIR フィルタで構成される。

【0023】

【数 1】

に同期した外乱周波数以外の周波数でゲインが 0 dB より低下したり上昇したりすることが殆どない。ゲイン K_r を大きく設定すると、回転に同期した外乱周波数でのゲインは上昇するが、それ以外の周波数でもゲインが 0 dB より低下したり上昇したりする。このため、ゲイン K_r を大きく設定した状態で、繰り返し制御を行うと、学習の収束性、すなわち、位置誤差信号 PES に含まれる磁気ディスクの回転に同期した外乱成分は速やかに一定の値まで抑圧されるが、磁気ディスクの回転に同期した外乱成分が一定の値に抑圧された後の定常状態において、上記した回転に同期した外乱周波数以外の周波数でのゲインの変化によって、磁気ディスクの回転に同期した外乱成分以外の外乱が位置誤差信号 PES に加算されてしまう。逆に、ゲイン K_r を小さく設定した状態では、学習の収束性は遅くなるが、定常状態において回転に同期した外乱成分以外の外乱が位置誤差信号 PES に加算されることが少ない。

【0030】上記のことから、本実施形態では、乗算器 33、遅延記憶素子 35 およびフィルタ 36 によって構成される繰り返し制御器の乗算器 33 のゲイン K_{r1} を大きな値に設定し、この繰り返し制御器を学習収束性に優れたもの、すなわち、位置誤差信号 PES に含まれる周期的外乱成分を一定の値に収束させる収束速度が相対的に速いものとする。さらに、乗算器 34、遅延記憶素子 35 およびフィルタ 36 によって構成される繰り返し制御器の乗算器 34 のゲイン K_{r2} を小さな値に設定し、この繰り返し制御器を定常時の安定性能に優れたものとする。

【0031】次に、上記構成のディスクドライブ装置における記録再生時の動作について説明する。まず、磁気ディスク D1、D2 を回転させて、磁気ヘッド 4a~4d のいずれかによって記録または再生動作を行い、磁気ディスク D1、D2 に書き込まれたサーボ情報を再生することにより、再生または記録している磁気ヘッドを磁気ディスクの所望のトラックに追従させるトラッキングサーボをかける。

【0032】位置誤差信号生成器 7 は、回転する磁気ディスクの記録面に対する再生、記録中の磁気ヘッドの目標トラックからの位置誤差を検出する。繰り返し制御部 31 の切換信号生成器 37 は、繰り返し制御部 31 での繰り返し制御を開始した時点では、位置誤差信号 PES に含まれる周期的外乱成分は大きいので、ゲインの大き

い乗算器33を選択する切換信号37sを出力する。

【0033】繰返し制御部31では、加算器8の出力信号8sを少なくともN+m個サンプリングするまで、すなわち、少なくとも磁気ディスクの一回転分+m個の位置誤差信号PESをサンプリングするまでは、補正指令Mrを出力しない。そして、少なくともN+m個サンプリングのデータをサンプリングした時点から、乗算器33、遅延記憶素子35およびフィルタ36によって構成される繰返し制御器で生成された補正指令Mrを加算器8に出力する。

【0034】加算器8は、補正指令Mrと遅延していない位置誤差信号PESとを加算して操作量としてトラッキング制御器9に出力する。トラッキング制御器9は、この操作量をたとえば、PID補償器等によって補償してD/Aコンバータ10に出力し、ドライバ11、アクチュエータ4によって磁気ヘッドのトラッキング方向の位置決め制御を行う。

【0035】この結果、乗算器33、遅延記憶素子35およびフィルタ36によって構成される繰返し制御器は、上述したように、学習収束性能が高いため、位置誤差信号PESに含まれる周期的外乱成分は速やかに抑制され、一定の値に収束する。

【0036】この状態で、切換信号生成器37は、位置誤差信号PESの大きさが一定の値よりも小さい値に収束したと判断すると、繰返し制御部31の乗算器34を選択する切換信号37sを出力する。乗算器34に切り換えられると、加算器8の出力信号8sは乗算器34に入力され、遅延記憶素子35、フィルタ36を通じて補正指令Mrが生成され、加算器8に出力される。乗算器34、遅延記憶素子35およびフィルタ36によって構成される繰返し制御器は、定常時の安定性能に優れているため、補正指令Mrには周期的外乱成分の周波数以外の外乱が少なく、磁気ヘッドのトラッキング方向の安定した位置決め制御が行われる。

【0037】また、乗算器33と乗算器34との切り換えの際には、乗算器33および乗算器34は、遅延記憶素子35およびフィルタ36の前段に設けられているため、遅延記憶素子35およびフィルタ36は乗算器33から出力されたデータを保持しているため、乗算器33から乗算器34への切り換えによる補正指令Mrの値の急激な変化は発生しない。

【0038】たとえば、磁気ディスクD1の磁気ヘッド4aによる再生、記録が終了し、続けて、磁気ディスクD1の記録面を変更して磁気ヘッド4bにより記録、再生する場合には、磁気ディスクD1の各記録面のサーボ情報は、それぞれ独立に書き込まれているため、位置誤差信号PESに含まれる周期的外乱成分の値は再度大きくなる。このため、切換信号生成器37は、再生、記録する磁気ヘッドを4aから4bに変更したことを示す変更信号を図示しない制御部から受けて、学習収束性の速

い繰返し制御器の乗算器33を選択する切換信号37sを切換スイッチ32に出力する構成とすることも可能である。この場合にも、切換信号生成器37は、位置誤差信号PESに含まれる周期的外乱成分の値が一定の値に収束したら、安定性の高い繰返し制御器の乗算器34を選択する切換信号37sを切換スイッチ32に出力する。

【0039】また、たとえば、磁気ディスクD1の磁気ヘッド4bによる記録または再生が終了し、続けて、磁気ディスクD2を磁気ヘッド4cにより記録または再生する場合には、磁気ディスクD1と磁気ディスクD2のスピンドルモータ2に対する偏心量が異なり、かつ、各記録面のサーボ情報は、それぞれ独立に書き込まれているため、位置誤差信号PESに含まれる周期的外乱成分の値は記録面を変更する場合よりもさらに大きくなる場合がある。このような場合にも、切換信号生成器37は、再生、記録する磁気ヘッドを4bから4cに変更したことを示す変更信号を図示しない制御部から受けて、学習収束性の速い繰返し制御器の乗算器33を選択する切換信号37sを切換スイッチ32に出力する構成とし、切換信号生成器37は、位置誤差信号PESに含まれる周期的外乱成分の値が一定の値に収束したら、安定性の高い繰返し制御器の乗算器34を選択する切換信号37sを切換スイッチ32に出力する。このような構成とすることにより、速やかに位置誤差信号PESに含まれる周期的外乱成分を除去することができる。

【0040】さらに、たとえば、乗算器34、遅延記憶素子35およびフィルタ36によって構成される定常安定性の高い繰返し制御器によって学習制御を定常的に行っている最中に、ディスクドライブ装置に衝撃等が印加されて位置誤差信号PESに周期的でない外乱が加わると、この周期的でない外乱成分の作用によって位置誤差信号PESに含まれる周期的外乱成分の値も大きくなる場合もある。このような場合には、切換信号生成器37は、位置誤差信号PESの履歴、すなわち時間的変化から判断して衝撃等が印加されたと判断し、乗算器33を選択する切換信号37sを切換スイッチ32に出力し、位置誤差信号PESに含まれる周期的外乱成分の値が一定の値に収束したら、安定性の高い繰返し制御器の乗算器34を選択する切換信号37sを切換スイッチ32に出力する構成としてもよい。

【0041】以上のように、本実施形態によれば、高速な学習により速やかに回転周期外乱を収束させることができ、かつ、トラッキングサーボ系の定常的な位置決め安定性を向上させることができる。

【0042】第2実施形態

図3は、本発明の第2の実施形態に係るディスクドライブ装置にトラッキングサーボ系の構成図ある。図3に示すディスクドライブ装置101は、上述した第1の実施形態に係るディスクドライブ装置1と繰返し制御部の

構成以外は同一の構成であり、同じ構成部分については同じ符号を付している。なお、本実施形態では、磁気ヘッド4a～4dが本発明の記録／再生手段の一具体例に対応している。上述した第1の実施形態では、繰り返し制御部31で生成した補正指令Mrをを加算器8で位置誤差信号PESに加算し、加算器8の出力信号8sを繰り返し制御部31の入力とする、いわゆるフィードバック型の構成とした。本実施形態では、位置誤差信号PESを繰り返し制御部41の入力とし、繰り返し制御部41の生成した補正指令Mrを加算器46で位置誤差信号PESを加算する、いわゆるフィードフォワード型の構成となっている。

【0043】繰り返し制御部41は、加算器42と、遅延記憶素子43と、フィルタ44と、乗算器45とを有している。

【0044】遅延記憶素子43は、加算器42から出力される内部状態信号42sを順次記憶し、磁気ディスクD1、D2の一回転周期分だけ遅延させて出力する。この遅延記憶素子43は、上述した第1の実施形態の遅延記憶素子35と同一の構成である。なお、遅延記憶素子43は本発明の遅延記憶手段の一具体例に対応している。

【0045】加算器42は、フィルタ44の出力信号44sと遅延していない位置誤差信号PESとを加算して新たな内部状態信号42sとして遅延記憶素子43に出力する。なお、加算器42は本発明の第1の加算手段の一具体例に対応している。

【0046】フィルタ44は、低域通過フィルタからなり、遅延記憶素子43から出力された一または複数の出力信号43sに対して所定のフィルタ演算を施して乗算器45および加算器42に出力する。フィルタ44は、たとえば、上記の(1)式で示したようなFIRフィルタで構成される。

【0047】乗算器45は、フィルタ44の出力信号44sに所定のゲインKrを乗じて補正指令Mrとして加算器46に出力する。なお、乗算器45のゲインKrは、0～1のいずれかの値をとる。

【0048】加算器46は、乗算器45から出力される補正指令Mrと遅延していない位置誤差信号PESとを加算して操作量としてトラッキング制御器9に出力する。

【0049】上記構成の繰り返し制御部41においては、位置誤差信号生成回路7で生成された入力としての位置誤差信号PESは、加算器42に入力され、加算器42では、位置誤差信号PESにフィルタ44の出力信号44sを加算し、内部状態信号42sとして遅延記憶素子43に順次記憶する。遅延記憶素子43は、記憶した内部状態信号42sを磁気ディスクの一回転周期分だけ遅延させ、すなわち、Nサンプル遅延させたのちにフィルタ44に出力する。次いで、遅延記憶素子43

から出力された内部状態信号43sをフィルタ44に通して、得られた信号44sに乗算器45でゲインKrを乗じ、得られた補正指令Mrを遅延していない位置誤差信号PESとを加算して新たな内部状態信号42sとして遅延記憶素子43に順次入力する。さらに、加算器46では、得られた補正指令Mrを遅延していない位置誤差信号PESにフィードフォワード的に加算して操作量46sとする。

【0050】このようにして得られた操作量46sは、トラッキング制御器9に入力され、トラッキング制御器9では操作量を補償して磁気ヘッド4a～4dのうち再生、記録中のもののトラッキング方向の位置決め制御を行う。

【0051】ここで、トラッキングサーボ系における、入力としての位置誤差信号PESから加算器46の出力への伝達関数 $C_2(z)$ は、次式(3)で表される。

【0052】

【数3】

$$C_2(z) = \frac{1 + (K_r - 1)z^{-N}q(z, z^{-1})}{1 - z^{-N}q(z, z^{-1})}$$

【0053】図4(a)は、乗算器45のゲインKrを0.1に設定したときの伝達関数 $C_2(z)$ の周波数特性を示すボード線図であり、図4(b)は、第1の実施形態において説明した伝達関数 $C_1(z)$ のゲインKrを0.1としたときの周波数特性を示すボード線図である。なお、説明の簡単化のために、磁気ディスクの1回転当たりのサンプリング数 $N=10$ 、フィルタ36の伝達関数 $q(z, z^{-1})=1$ 、フィルタ44の伝達関数 $q_0(z, z^{-1})=1$ とし、繰り返し制御サンプリング周波数を10kHzと設定している。また、図5(a)は、図4(a)と全く同じ条件での伝達関数 $C_2(z)$ の周波数特性を示すボード線図であり、図5(b)は伝達関数 $C_2(z)$ のゲインKrを0.9としたときの周波数特性を示すボード線図である。

【0054】図4から判るように、本実施形態のフィードフォワード型の繰り返し制御器の伝達関数 $C_2(z)$ の周波数特性においては、ゲインKrが小さく設定されていても、ゲイン特性105の回転周期外乱に対応する周波数におけるピークは、フィードバック型の繰り返し制御器の伝達関数 $C_1(z)$ のゲインよりも大きな値が得られることが判る。すなわち、伝達関数 $C_2(z)$ によれば、ゲインKrが小さく設定されていても、非常に高い回転周期外乱の抑圧性能が得られることが判る。

【0055】この理由としては、式(3)から判るように、伝達関数 $C_2(z)$ はゲインKrを小さく(0に近づけて)設定すると、伝達関数 $C_2(z)$ の零点と極の位置が非常に接近するため、位相特性106から判るように、位相特性106の位相の反転する反転周波数領域108も狭くなる。このため、ゲイン特性105に回転

周期外乱の周波数を抑制する周波数での急峻なピークが得られると考えられる。一方、伝達関数 $C_1(z)$ では、式 (2) からわかるように、原点以外の零点が存在しないため、上記のようなことが発生せず、ゲイン K_r を小さく設定すると回転周期外乱の抑制性能が低下する。

【0056】さらに、伝達関数 $C_2(z)$ のゲイン K_r を小さく設定すると、ゲイン特性 105 は非常にシャープな特性となる。また、伝達関数 $C_2(z)$ のゲイン K_r を大きく設定した場合と比較して、ゲイン特性 105 は、回転周期外乱の周波数以外の周波数でゲインが 0 dB から低下したり上昇したりすることがほとんどない。このため、伝達関数 $C_2(z)$ のゲイン K_r を充分小さく設定しても、位置誤差信号 PES に含まれる磁気ディスクの回転同期外乱の抑圧度を確保できると同時に、回転同期周波数以外の周波数域においてもトラッキングサーボ特性の悪化もほとんどなく、良好な定常位置決め特性が得られることがわかる。

【0057】一方、図 5 (b) に示すように、伝達関数 $C_2(z)$ はゲイン K_r を大きく (1 に近づけて) 設定すると、ゲイン特性 109 のピーク周波数領域 111 が広くなり、位相特性 110 の反転周波数領域 112 も広くなる。位相の反転については、ゲイン K_r を大きく設定すると、位相が大きく反転し、かつゲイン特性 109 がブロードになる。伝達関数 $C_2(z)$ の K_r を大きく設定すると、小さく設定した場合に比べて格段に学習の収束が早くなる。しかしながら、ゲイン K_r を大きく設定すると、回転に同期した外乱周波数でのゲインは上昇するが、それ以外の周波数でもゲインが 0 dB より低下したり上昇したりし、トラッキングサーボ系の定常状態での安定性能が低下する。

【0058】以上のように、本実施形態によれば、伝達関数 $C_2(z)$ のゲイン K_r を小さく設定しても、回転同期周波数以外の周波数域においてトラッキングサーボ特性を安定化させる、すなわち、位置誤差信号 PES に含まれる磁気ディスクの回転同期外乱を一定の値に収束させた後の定常状態でのトラッキングサーボ特性を安定化できるとともに、位置誤差信号 PES に含まれる磁気ディスクの回転同期外乱の抑圧度を確保できる。さらに、本実施形態によれば、伝達関数 $C_2(z)$ の K_r を大きく設定すると、小さく設定した場合に比べて格段に速い学習収束速度を得られる。これらのことから、伝達関数 $C_2(z)$ のゲイン K_r を調整する際に、ゲイン K_r の低下によって、位置誤差信号 PES に含まれる磁気ディスクの回転同期外乱の抑圧性能の低下を考慮する必要がなく、伝達関数 $C_2(z)$ のゲイン K_r をトラッキングサーボ系の学習収束後の定常的な安定性と学習の収束速度とのトレードオフによって決定することができ、特性のよい繰返し制御補償器が得られる。

【0059】第 3 実施形態

図 6 は、本発明の第 3 の実施形態に係るディスクドライブ装置のトラッキングサーボ系の構成図である。図 6 に示すディスクドライブ装置 201 は、上述した第 1 および第 2 の実施形態に係るディスクドライブ装置 1、101 と繰返し制御部の構成以外は同一の構成であり、同じ構成部分については同じ符号を付している。また、本実施形態に係る繰返し制御部 51 は、第 2 の実施形態において説明したと同様のフィードフォワード型の構成の繰返し制御器を備え、さらに、第 1 の実施形態で説明したと同様に、繰返し制御器で生成した補正指令を切換信号に応じて選択して第 1 の加算手段としての加算器 59 に出力する切換手段を備えている。

【0060】繰返し制御部 51 は、切換スイッチ 52 と、2 つの乗算器 53、54 と、加算器 55 と、遅延記憶素子 56 と、フィルター 57 と、切換信号生成器 58 とを備えている。

【0061】切換スイッチ 32 は、上記した固定接点 32c と同じ構成であり、入力される位置誤差信号 PES を、乗算器 53、54 のいずれか一方に出力する。切換スイッチ 32 の接続の切換は、切換信号生成器 58 からの切換信号 58s の入力に応じて行われる。

【0062】乗算器 53 は、切換スイッチ 32 から出力される位置誤差信号 PES に所定のゲイン K_{r1} を乗じて加算器 55 に出力する。なお、乗算器 53 のゲイン K_{r1} は、0.5 ~ 1 のいずれかの値をとる。乗算器 54 は、切換スイッチ 32 から出力される位置誤差信号 PES に所定のゲイン K_{r2} を乗じて加算器 55 に出力する。なお、乗算器 54 のゲイン K_{r2} は、0 ~ 0.5 のいずれかの値をとり、乗算器 53 のゲイン K_{r1} よりも小さい値に設定される。

【0063】遅延記憶素子 56 は、加算器 55 から出力される内部状態信号 55s を順次記憶し、磁気ディスク D1、D2 の一回転周期分だけ遅延させて出力する。この遅延記憶素子 56 は、上述した第 1 および第 2 の実施形態の遅延記憶素子と同一の構成である。

【0064】加算器 55 は、フィルター 57 の出力する補正指令 Mr と乗算器 53 または 54 の出力信号とを加算して新たな内部状態信号 55s として遅延記憶素子 56 に出力する。

【0065】フィルター 57 は、低域通過フィルターからなり、遅延記憶素子 56 から出力された一または複数の出力信号 56s に対して所定のフィルタ演算を施して加算器 55 および加算器 59 に出力する。フィルター 57 は、たとえば、上記の (1) 式で示したような FIR フィルターで構成される。

【0066】加算器 59 は、位置誤差信号 PES にフィルター 57 からの補正指令 Mr をフィードフォワード的に加算し、操作量 59s としてトラッキング制御器 9 に出力する。

【0067】上記構成の繰返し制御部 51 では、第 2

の実施形態で説明したように、入力としての位置誤差信号PESから加算器46の出力への伝達関数は、上記の(3)式で表される伝達関数 $C_2(z)$ となる。また、繰り返し制御部51の伝達関数 $C_2(z)$ は異なるゲイン K_{r1} 、 K_{r2} についてそれぞれ存在する。

【0068】第2の実施形態で説明したように、伝達関数 $C_2(z)$ は、ゲイン K_r を小さく設定しても、回転同期周波数以外の周波数域においてトラッキングサーボ特性を安定化させる、すなわち、位置誤差信号PESに含まれる磁気ディスクの回転同期外乱を一定の値に収束させた後の定常状態でのトラッキングサーボ特性を安定化できるとともに、位置誤差信号PESに含まれる磁気ディスクの回転同期外乱の抑圧度を確保できる。一方、伝達関数 $C_2(z)$ の K_r を大きく設定すると、小さく設定した場合に比べて格段に速い学習収束性能を得られるが、回転に同期した外乱周波数でのゲインは上昇するが、それ以外の周波数でもゲインが0dBより低下したり上昇したりし、トラッキングサーボ系の定常状態での安定性能が低下する。

【0069】このことから、学習開始時には伝達関数 $C_2(z)$ の K_r を充分大きな値に設定し、位置誤差信号に含まれる回転同期外乱が一定の大きさまで抑制された定常時には K_r を小さく設定することにより、高速な学習と良好な定常位置決め特性を実現できる。したがって、本実施形態では、乗算器53のゲイン K_{r1} を充分大きな値に設定し、乗算器54のゲイン K_{r2} を小さな値に設定し、使用する乗算器53または乗算器54を、上述した第1の実施形態の場合と同様に、切換信号生成器58からの切換信号58sに応じて切換スイッチ52で切り換える。

【0070】切換信号生成器37は、繰り返し制御部51での繰り返し制御を開始した時点では、位置誤差信号PESに含まれる周期的外乱成分は大きいので、ゲインの大きい乗算器53を選択する切換信号58sを出力する。乗算器53が選択されると、乗算器54を選択した場合に比べて格段に速い学習収束性能を得られるので、位置誤差信号PESに含まれる周期的外乱成分は速やかに抑圧され、一定の値に収束する。

【0071】切換信号生成器58は、位置誤差信号PESの大きさが一定の値よりも小さい値に収束したと判断すると、繰り返し制御部51の乗算器54を選択する切換信号58sを出力する。位置誤差信号PESが入力される乗算器が乗算器54に切り換えられると、位置誤差信号PESに含まれる磁気ディスクの回転同期外乱の抑圧度を確保できるとともに、回転同期周波数以外の周波数域においてもトラッキングサーボ特性の悪化もほとんどなく、良好な定常位置決め特性が得られる。

【0072】また、乗算器53と乗算器54との切り換えの際には、乗算器53および乗算器54は、遅延記憶素子56およびフィルタ57の前段に設けられ、遅延

記憶素子56およびフィルタ57は共通して使用され、遅延記憶素子56およびフィルタ57は乗算器53あるいは54から出力されたデータを保持しているため、切り換えによる補正指令 M_r の値の急激な変化は発生しない。

【0073】第1の実施形態と同様に、たとえば、磁気ディスクD1の磁気ヘッド4aによる再生、記録が終了し、続けて、磁気ディスクD1の記録面を変更して磁気ヘッド4bにより記録、再生する場合には、磁気ディスクD1の各記録面のサーボ情報は、それぞれ独立に書き込まれているため、位置誤差信号PESに含まれる周期的外乱成分の値は再度大きくなる。このため、切換信号生成器58は、再生、記録する磁気ヘッドを4aから4bに変更したことを示す変更信号を図示しない制御部から受けて、乗算器53を選択する切換信号58sを切換スイッチ52に出力する構成とすることも可能である。この場合にも、切換信号生成器58は、位置誤差信号PESに含まれる周期的外乱成分の値が一定の値に収束したら、乗算器54を選択する切換信号58sを切換スイッチ52に出力する。

【0074】また、たとえば、磁気ディスクD1の磁気ヘッド4bによる再生、記録が終了し、続けて、磁気ディスクD2を磁気ヘッド4cにより記録、再生する場合には、磁気ディスクD1と磁気ディスクD2のスピンドルモータ2に対する偏心量が異なり、かつ、各記録面のサーボ情報は、それぞれ独立に書き込まれているため、位置誤差信号PESに含まれる周期的外乱成分の値は記録面を変更する場合よりもさらに大きくなる場合がある。このような場合にも、切換信号生成器58は、再生、記録する磁気ヘッドを4bから4cに変更したことを示す変更信号を図示しない制御部から受けて、乗算器53を選択する切換信号58sを切換スイッチ52に出力する構成とし、切換信号生成器58は、位置誤差信号PESに含まれる周期的外乱成分の値が一定の値に収束したら、乗算器54を選択する切換信号58sを切換スイッチ52に出力する。このような構成とすることにより、速やかに位置誤差信号PESに含まれる周期的外乱成分を除去することができ、かつ、定常状態での安定したトラッキングサーボ特性が得られる。

【0075】さらに、ゲイン K_{r2} の値が小さい乗算器54を使用して学習制御を定常的に行っている最中に、ディスクドライブ装置に衝撃等が印加されて位置誤差信号PESに周期的でない外乱が加わると、この周期的でない外乱成分の作用によって位置誤差信号PESに含まれる周期的外乱成分の値も大きくなる場合もある。このような場合には、切換信号生成器58は、位置誤差信号PESの履歴、すなわち時間的変化から判断して衝撃等が印加されたと判断し、ゲイン K_{r1} の値が大きい乗算器53を選択する切換信号58sを切換スイッチ52に出力し、位置誤差信号PESに含まれる周期的外乱成分

の値が一定の値に収束したら、ゲインの小さい乗算器 54 を選択する切換信号 58s を切換スイッチ 52 に出力する構成としてもよい。

【0076】 以上のように、本実施形態によれば、第 1 の実施形態と同様に、高速な学習により速やかに回転周期外乱を収束させることができ、かつ、トラッキングサーボ系の定常的な位置決め安定性を向上させることができるとともに、定常時に位置誤差信号 P E S に含まれる磁気ディスクの回転同期外乱の抑圧性能を確保できる。

【0077】 第 4 実施形態

図 7 は、本発明の第 4 の実施形態に係るディスクドライブ装置のトラッキングサーボ系の構成図である。図 7 に示すディスクドライブ装置 301 は、上述した第 1 ～ 第 3 の実施形態に係るディスクドライブ装置 1、101、201 と繰り返し制御部の構成以外は同一の構成であり、同じ構成部分については同じ符号を付している。また、本実施形態に係る繰り返し制御部 61 は、上述した第 2 の実施形態において説明したと同様のフィードフォワード型の構成の繰り返し制御器を複数備え、さらに、第 1 の実施形態で説明したと同様に、各繰り返し制御器で生成した補正指令を切換信号に応じて選択して第 1 の加算手段としての加算器 72 に出力する切換手段を備えている。

【0078】 本実施形態に係る繰り返し制御部 61 は、2 つの乗算器 62、63 と、2 つの加算器 64、65 と、2 つの遅延記憶素子 66、67 と、2 つのフィルター 68、69 と、切換スイッチ 70 と、切換信号 71 とを有する。

【0079】 切換スイッチ 32 は、上記した固定接点 32c と同じ構成であり、入力される位置誤差信号 P E S を、乗算器 53、54 のいずれか一方に出力する。切換スイッチ 32 の接続の切換は、切換信号生成器 58 から切換信号 58s の入力に応じて行われる。

【0080】 乗算器 62 は、位置誤差信号 P E S に所定のゲイン K_{r1} を乗じて加算器 64 に出力する。乗算器 63 は、位置誤差信号 P E S に所定のゲイン K_{r2} を乗じて加算器 65 に出力する。なお、乗算器 62 のゲイン K_{r1} は、乗算器 63 のゲイン K_{r2} よりも大きい値に設定される。好適には、ゲイン K_{r1} は 0.5 以上、ゲイン K_{r2} は 0.5 以下に設定される。

【0081】 加算器 64 は、フィルター 68 の出力する補正指令 M_r と乗算器 62 の出力信号 62s とを加算し *

$$q_1(z, z^{-1}) = \frac{2z^5 + z^4 + 2z^3 + z^2 + z + 2 + z^{-1} + z^{-2} + 2z^{-3} + z^{-4} + 2z^{-5}}{16}$$

【0088】

【数 5】

$$K_{r1} = 0.75$$

【0089】

【数 6】

50

*て内部状態信号 64s として遅延記憶素子 66 に出力する。加算器 65 は、フィルター 69 の出力する補正指令 M_r と乗算器 63 の出力信号 63s とを加算して内部状態信号 65s として遅延記憶素子 67 に出力する。

【0082】 遅延記憶素子 66 は、加算器 64 から出力される内部状態信号 64s を順次記憶し、磁気ディスク D1、D2 の一回転周期分だけ遅延させて出力する。遅延記憶素子 67 は、加算器 65 から出力される内部状態信号 65s を順次記憶し、磁気ディスク D1、D2 の一回転周期分だけ遅延させて出力する。遅延記憶素子 66、67 は、上述した第 1 ～ 第 3 の実施形態の遅延記憶素子と同一の構成である。

【0083】 フィルター 68 は、伝達関数 $q_1(z, z^{-1})$ をもつ低域通過フィルターからなり、遅延記憶素子 66 から出力された一または複数の出力信号 66s に対して所定のフィルタ演算を施し、演算結果を補正指令 M_r として加算器 64 および切換スイッチ 70 に出力する。フィルター 69 は、伝達関数 $q_2(z, z^{-1})$ をもつ低域通過フィルターからなり、遅延記憶素子 67 から出力された一または複数の出力信号 67s に対して所定のフィルタ演算を施し、演算結果を補正指令 M_r として加算器 65 および切換スイッチ 70 に出力する。フィルター 68、69 は、たとえば、上記の (1) 式で示したような FIR フィルターで構成される。また、フィルター 68、69 は低域通過フィルターであるが、フィルター 68 よりもフィルター 69 のほうが高周波帯域まで通過させるフィルターとなっている。

【0084】 切換スイッチ 70 は、フィルター 68、69 から出力される補正指令 M_r を、切換信号生成器 71 からの選択的に加算器 72 に出力する。なお、切換信号生成器 71 の構成は、上述した各実施形態の切換信号生成器と同様である。

【0085】 加算器 72 は、位置誤差信号 P E S に切換スイッチ 70 から出力される補正指令 M_r をフィードフォワード的に加算し、操作量 72s としてトラッキング制御器 9 に出力する。

【0086】 ここで、上記のフィルター 68、69 の伝達関数 $q_1(z, z^{-1})$ 、 $q_2(z, z^{-1})$ および乗算器 62、63 のゲイン K_{r1} 、 K_{r2} の具体例を次式

(4) ～ (7) に示す。

【0087】

【数 4】

$$q_2(z, z^{-1}) = \frac{z + 2 + z^{-1}}{4}$$

【0090】

【数 7】

$$K_{r2} = 0.03125$$

【0091】図8(a)はフィルタ68の伝達関数 $q_1(z, z^{-1})$ 、図8(b)はフィルタ69の伝達関数 $q_2(z, z^{-1})$ の周波数特性を示すボード線図である。なお、繰り返し制御サンプリング数 $N=224$ とし、磁気ディスクの回転数は 4500rpm (75Hz)とした。図8(a)に示すように、フィルタ68の伝達関数 $q_1(z, z^{-1})$ のゲイン特性113は 1kHz 手前から強く減衰するゲイン特性である。また、図8(b)に示すように、フィルタ69の伝達関数 $q_2(z, z^{-1})$ のゲイン特性114は数 kHz あたりまで通過性を持つゲイン特性であることがわかる。

【0092】次に、フィルタ68、69について、位置誤差信号 PES から加算器72の出力信号 $72s$ への伝達関数 $C_2(z)$ の周波数特性を示すボード線図を図9に示す。なお、これら伝達関数 $C_2(z)$ は、上記の(3)式で表される。図9(a)はフィルタ68を用いた場合の伝達関数 $C_2(z)$ の周波数特性を示すボード線図であり、図9(b)はフィルタ69を用いた場合の伝達関数 $C_2(z)$ の周波数特性を示すボード線図である。

【0093】図9(a)からわかるように、フィルタ68を用いた場合のゲイン特性115および位相特性116は、伝達関数 $q_1(z, z^{-1})$ の特性により減衰が早い。フィルタ68を用いた場合のゲイン特性117および位相特性118は、伝達関数 $q_2(z, z^{-1})$ の特性により比較的高周波数帯域まで減衰しない。

【0094】上記構成の繰り返し制御部61では、フィルタ68、69から出力される補正指令 Mr は、切換信号生成器71から出力される切換信号 $71s$ によって切り換えられる切換スイッチ70によって選択されて、加算器72に出力される。切り替え信号生成器71は、たとえば、磁気ヘッド4a~4dの目標位置からある程度はずれた位置にいるときはフィルタ68から出力される補正指令 Mr を選択し、目標位置近傍に配置される定常状態のときはフィルタ69から出力される補正指令 Mr を選択する切換信号 $71s$ を出力する。

【0095】フィルタ68またはフィルタ69の補正指令 Mr のいずれが選択されていても、入力信号である位置誤差信号 PES は乗算器62、63でそれぞれゲイン倍され、加算器64、65にそれぞれ出力される。加算器64、65で、フィルタ68、フィルタ69の出力信号とそれぞれ加算され、遅延記憶素子66、67に出力される。遅延記憶素子66、67の出力信号は、それぞれフィルタ68、69を通して、切換スイッチ70に出力されるとともに、加算器64、65にそれぞれ出力される。切換スイッチ70で選択されたフィルタ68またはフィルタ69の補正指令 Mr は、加算器72に出力され、位置誤差信号 PES と加算され、操作量 $72s$ としてトラッキング制御器9に出力される。操作量 $72s$ は補償されて D/A コンバータ11に出力され、ドライバ

12およびアクチュエータ4によって磁気ヘッド4a~4dのトラッキング方向の位置決め制御が行われる。

【0096】なお、図7の構成においては、乗算器62、63を繰り返し制御器の入力側に配置したが、当然、出力側に配置することも可能である。ただし、フィルタ68またはフィルタ69の切換時の演算の簡便性等を考慮すると、出力側に乗算器を配置した場合、例えば、ゲインを Kr_1 から Kr_2 に切り換えるときに、遅延記憶素子67の中身に Kr_1/Kr_2 を掛ける必要がある、図7の構成のほうが切換時の演算が簡単である。

【0097】ここで、図10にフィルタ68およびフィルタ69をそれぞれ用いた場合の学習収束特性を示す。図10(a)がフィルタ68を用いた場合の学習収束特性を示しており、図10(b)がフィルタ68を用いた場合の学習収束特性を示している。なお、図10の横軸は時間であって図10(a)、(b)は同じ時間軸を用いており、縦軸は無次元化した位置誤差信号 PES の大きさである。図10(a)に示すように、フィルタ68を用いた場合の学習収束特性119は、ほぼ磁気ディスクが2回転する間に収束しているが、図10(b)に示すように、フィルタ69を用いた場合には、学習収束特性120は、ディスクが数十周してもまだ学習が収束していない。このことから、フィルタ68を用いたほうが学習収束特性は格段に優れていることがわかる。

【0098】図11は、フィルタ68およびフィルタ69をそれぞれ用いた場合のトラッキングサーボ系の開ループ特性(一巡伝達関数の周波数特性)を示すボード線図であり、(a)がフィルタ68を用いた場合であり、(b)がフィルタ69を用いた場合である。図11

(a)からわかるように、フィルタ68を用いた場合、ゲイン特性121のピーク周波数領域が広くなり、位相特性122の反転する周波数領域も広くなる。一方、フィルタ69を用いた場合、ゲイン特性123のピーク周波数領域が狭くなり、位相特性124の反転周波数領域も狭くなる。

【0099】さらに、図12は定常時における位置誤差信号 PES のパワースペクトルを示すグラフであって、図12(a)は、上記構成の繰り返し制御部61による位置誤差信号 PES の繰り返し制御補償を行わない場合であり、図12(b)はフィルタ68を用いた場合であり、図12(c)はフィルタ69を用いた場合であり、図12(a)~(c)は同じ周波数軸を用いている。図12から判るように、繰り返し制御を用いない場合のスペクトル125から、基本トラッキング制御器だけではある程度高次まで回転同期外乱の取り残しがあることがわかる。また、フィルタ68を用いた場合のスペクトル126は、図11(a)に示したゲイン特性121からも予想されたとおり、回転同期外乱は高次まで除去されているが、ベースラインノイズを励起してしまう周波数領域、すなわち、 1kHz 程度以下の低周波数領域で回

転同期外乱周波数以外の周波数成分の外乱を励起しており、定常時には良好なサーボ特性ではない。

【0100】一方、フィルタ69を用いた場合のスペクトル127は、図11(b)に示したゲイン特性123からも予想されるとおり、回転同期外乱周波数成分のみが高次まで除去されており、ベースラインノイズの励起等は見られず、良好な定常サーボ特性が得られている。

【0101】上記のことから、フィルタ68を用いた繰り返し制御器は学習収束特性が非常に速いが、定常サーボ特性が相対的に悪いことが判る。一方、フィルタ69を用いた繰り返し制御器は、学習収束特性が非常に遅いが、良好な定常サーボ特性が得られることがわかる。

【0102】したがって、切換信号生成器71および切換スイッチ70によって、フィルタ68とフィルタ69から加算器72に出力される補正指令を適切に切り換えることにより、高速な学習と、トラッキング制御系の安定性と、高い外乱抑圧性能をもつ回転同期外乱を抑圧する補償器を得ることができる。

【0103】ここで、図13(a)は上記構成の繰り返し制御部61をトラッキングサーボ系に適用したときの、位置誤差信号PESの波形128を示すグラフであり、図13(b)は繰り返し制御部61で生成される補正指令Mrの波形129を示すグラフであり、図13(c)は切換信号生成器71の切換信号71sの波形130を示すグラフであり、図13(a)～(c)は、同じ時間軸を用いている。

【0104】図13(a)に示すように、フィルタ68が選択されて磁気ディスク1回転の間は遅延記憶素子66へのデータの格納のみが行われ、その後制御出力、すなわち、操作量72sの出力が開始される。磁気ディスクの2回転目後半には学習が収束し、フィルタ69に切り替わり、良好な定常位置決め性能が得られていることがわかる。

【0105】以上のように、本実施形態によれば、2つのフィードフォワード型の繰り返し制御器を構成し、かつ、これらフィードフォワード型の繰り返し制御器の乗算器62、63のゲイン K_{r1} 、 K_{r2} の大きさを変えるだけでなく、フィルタ68、69の周波数特性をそれぞれ変えることで、さらに、学習収束性能が高く、定常位置決め性能に優れ、かつ、定常時に高周波の回転外乱成分の抑圧性能の高いトラッキングサーボ系とすることができる。

【0106】変形例

図14は、上述した第4の実施形態の繰り返し制御部の変形例である。図14において、繰り返し制御部81は、切換スイッチ82と、ゲイン K_{r1}' 、ゲイン K_{r2}' の乗算器83、84と、加算器85と、遅延記憶素子86と、伝達関数 $q_1(z, z^{-1})$ 、 $q_2(z, z^{-1})$ をもつ低域通過フィルタ87、88と、切換スイッチ89と、ゲイン K_{r3} の乗算器90と、切換信号

生成器91とを有する。これらの構成要素は、第4の実施形態の構成要素と同一の構成である。また、切換スイッチ82、89は、切換信号生成器91からの切換信号91sに応じて同時に動作する。このような構成とすることで、第4の実施形態の繰り返し制御部61と同じ機能を実現できるとともに、遅延記憶素子85を2つの乗算器83、84と低域通過フィルタ87、88とで共用することで、メモリーの節約も可能である。

【0107】また、ゲイン K_{r1}' 、ゲイン K_{r2}' は、第4の実施形態のゲイン K_{r1} 、ゲイン K_{r2} に対して次式(8)、(9)の関係となる。

【0108】

【数8】

$$K_{r1}' \cdot K_{r3} = K_{r1}$$

【0109】

【数9】

$$K_{r2}' \cdot K_{r3} = K_{r2}$$

【0110】以上、種々の実施形態を挙げて、本発明のディスクドライブ装置およびヘッド位置決め制御方法について説明したが、本発明は上述した実施形態に限定されない。上述した実施形態は、磁気ディスクを駆動するディスクドライブ装置に定期用した場合について説明したが、たとえば、光ディスク、光磁気ディスク、フロッピーディスク等の種々の回転記録媒体におけるヘッドまたはピックアップのトラッキングサーボ系に適用可能である。さらに、上述した実施形態は、本発明をトラッキングサーボ系に適用した場合について説明したが、たとえば、光ディスク、光磁気ディスク等におけるフォーカスサーボ系への適用も可能である。この場合には、ディスクの偏心ではなく、ディスクの反り等に起因する回転周期外乱の抑制が可能となる。

【0111】

【発明の効果】本発明に係るディスクドライブ装置およびディスクドライブ装置のヘッド位置決め制御方法によれば、学習収束性が速く、サーボ制御系に入力される記録媒体の回転に同期した周期的な外乱を十分抑制でき、かつ、サーボ制御系の安定性を同時に確保できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係るディスクドライブ装置の構成図である。

【図2】繰り返し制御部31の周波数特性を示すボード線図である。

【図3】本発明の第2の実施形態に係るディスクドライブ装置の構成図である。

【図4】(a)は乗算器45のゲイン K_r を0.1に設定したときの伝達関数 $C_2(z)$ の周波数特性を示すボード線図であり、(b)は第1の実施形態において説明した伝達関数 $C_1(z)$ のゲイン K_r を0.1としたときの周波数特性を示すボード線図である。

【図5】(a)は、図4(a)と全く同じ条件での伝達

関数 $C_2(z)$ の周波数特性を示すボード線図であり、
(b) は伝達関数 $C_2(z)$ のゲイン K_r を 0.9 としたときの周波数特性を示すボード線図である。

【図 6】本発明の第 3 の実施形態に係るディスクドライブ装置の構成図である。

【図 7】本発明の第 4 の実施形態に係るディスクドライブ装置の構成図である。

【図 8】(a) はフィルタ 68 の伝達関数 $q_1(z, z^{-1})$ 、(b) はフィルタ 69 の伝達関数 $q_2(z, z^{-1})$ の周波数特性を示すボード線図である。

【図 9】(a) はフィルタ 68 を用いた場合の伝達関数 $C_2(z)$ の周波数特性を示すボード線図であり、

(b) はフィルタ 69 を用いた場合の伝達関数 $C_2(z)$ の周波数特性を示すボード線図である。

【図 10】フィルタ 68 およびフィルタ 69 をそれぞれ用いた場合の学習収束特性を示すグラフである。

【図 11】フィルタ 68 およびフィルタ 69 をそれぞれ用いた場合のトラッキングサーボ系の開ループ特性（一巡伝達関数の周波数特性）を示すボード線図であり、

(a) がフィルタ 68 を用いた場合であり、(b) がフィルタ 69 を用いた場合である。

【図 12】図 12 は定常時における位置誤差信号 PES のパワースペクトルを示すグラフであって、(a) は繰

り返し制御部 61 による位置誤差信号 PES の繰り返し制御補償を行わない場合であり、(b) はフィルタ 68 を用いた場合であり、(c) はフィルタ 69 を用いた場合である。

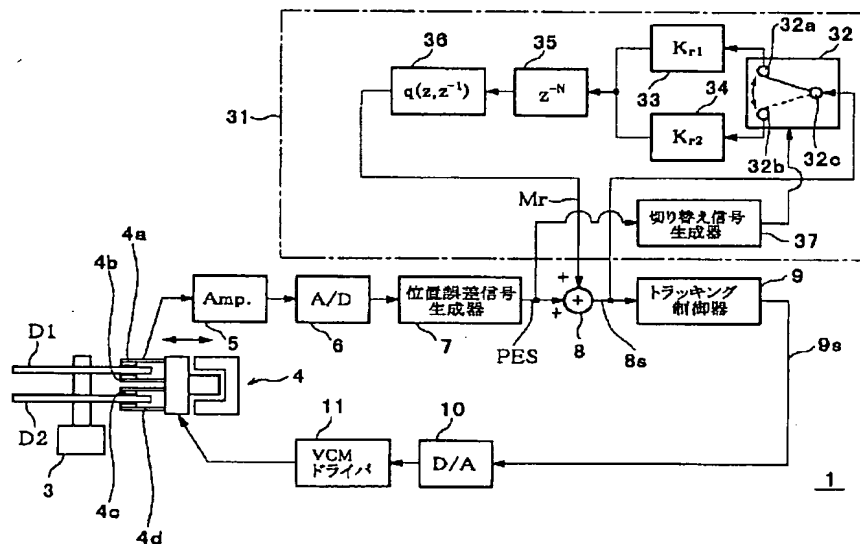
【図 13】(a) は上記構成の繰り返し制御部 61 をトラッキングサーボ系に適用したときの、位置誤差信号 PES の波形 128 を示すグラフであり、(b) は繰り返し制御部 61 で生成される補正指令 M_r の波形 129 を示すグラフであり、(c) は切換信号生成器 71 の切換信号 71s の波形 130 を示すグラフである。

【図 14】本発明の第 4 の実施形態に係るディスクドライブ装置の変形例を示す図である。

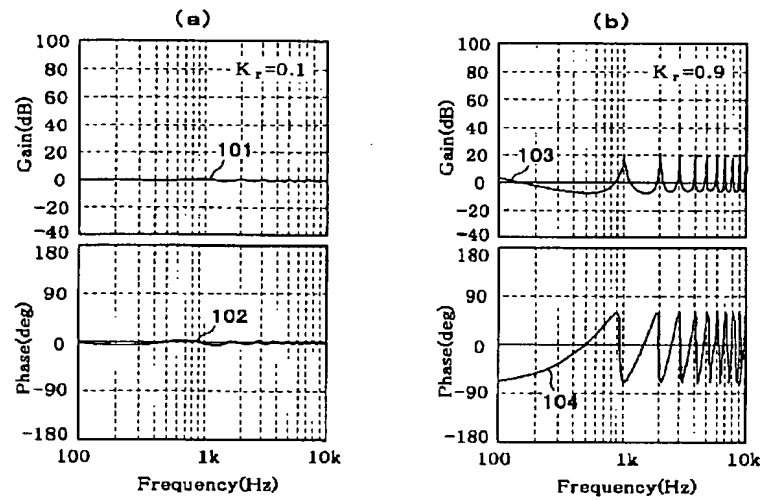
【符号の説明】

1, 101, 201, 301, 401…ディスクドライブ装置、3…スピンドルモータ、4…アクチュエータ、4a～4d…磁気ヘッド、5…増幅器、6…A/D コンバータ、7…位置誤差信号生成器、8…加算器、9…トラッキング制御器、10…D/A コンバータ、11…ドライバ、31, 41, 51, 61, 81…繰り返し制御部、32…切換スイッチ、33, 34…乗算器、35…遅延記憶素子、36…フィルタ、PES…位置誤差信号、 M_r …補正指令、D1, D2…磁気ディスク。

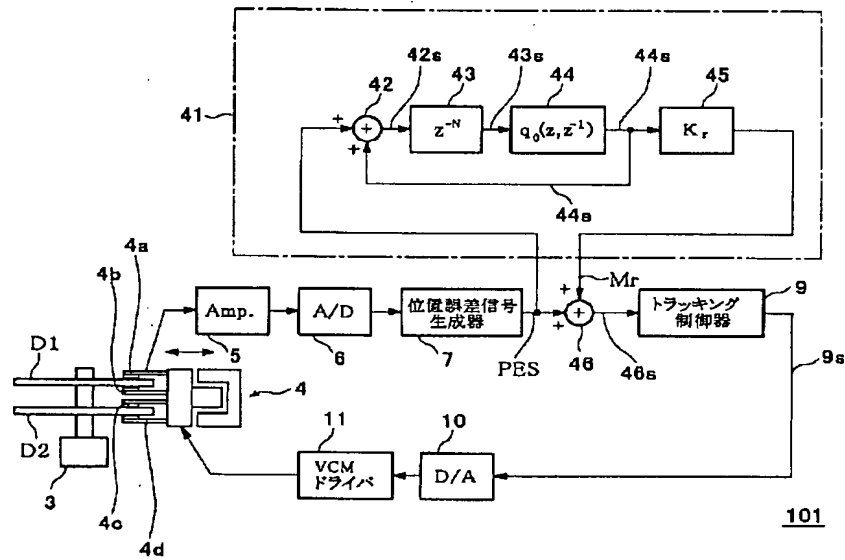
【図 1】



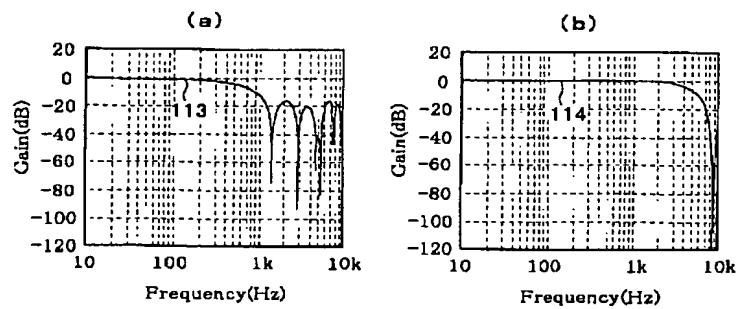
【図2】



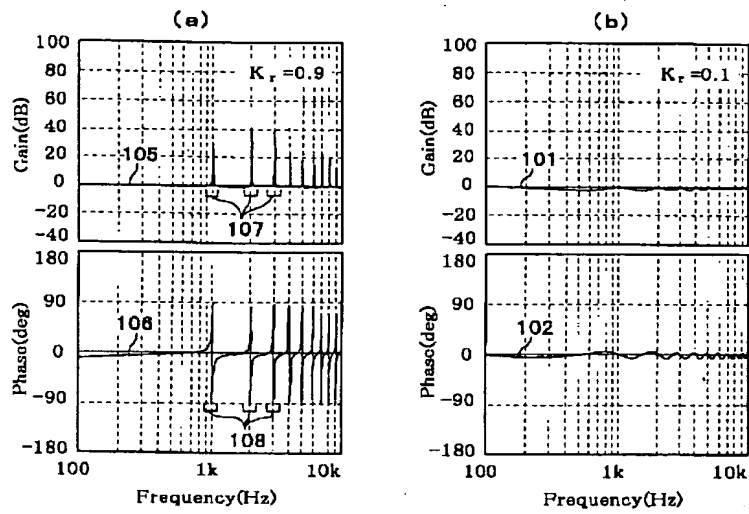
【図3】



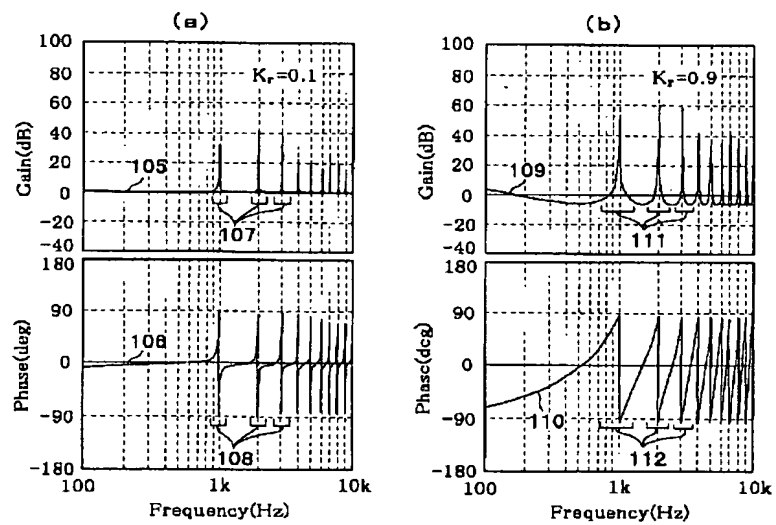
【図8】



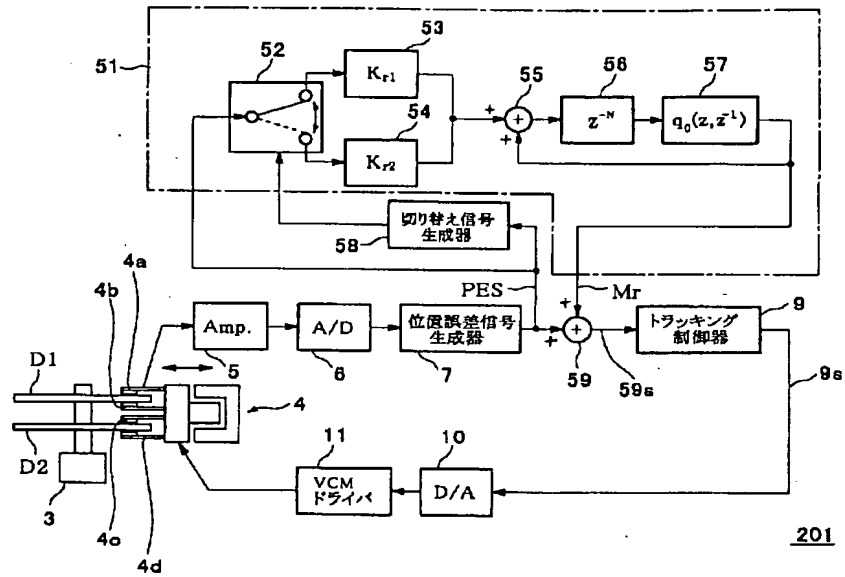
【図 4】



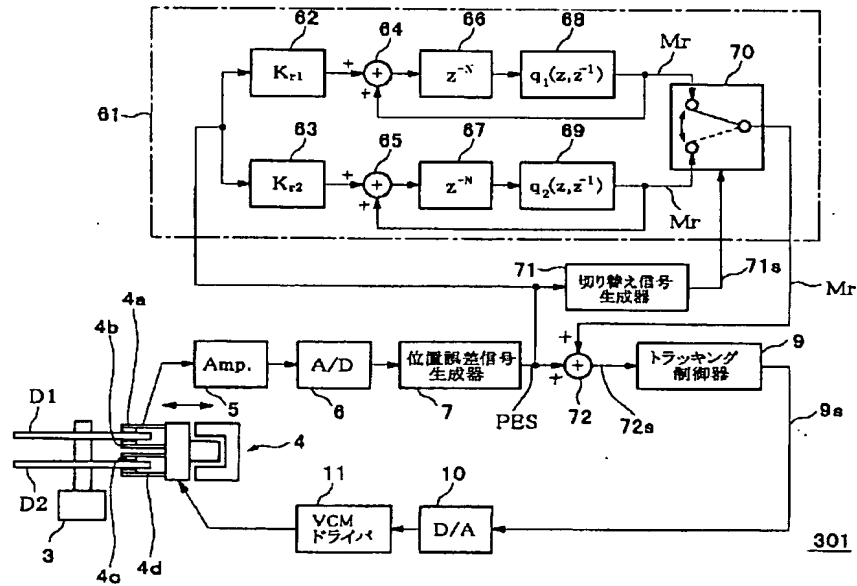
【図 5】



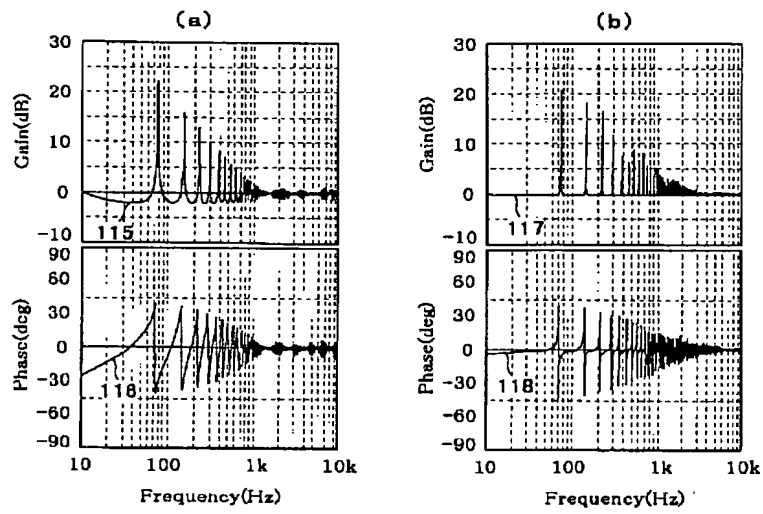
【図 6】



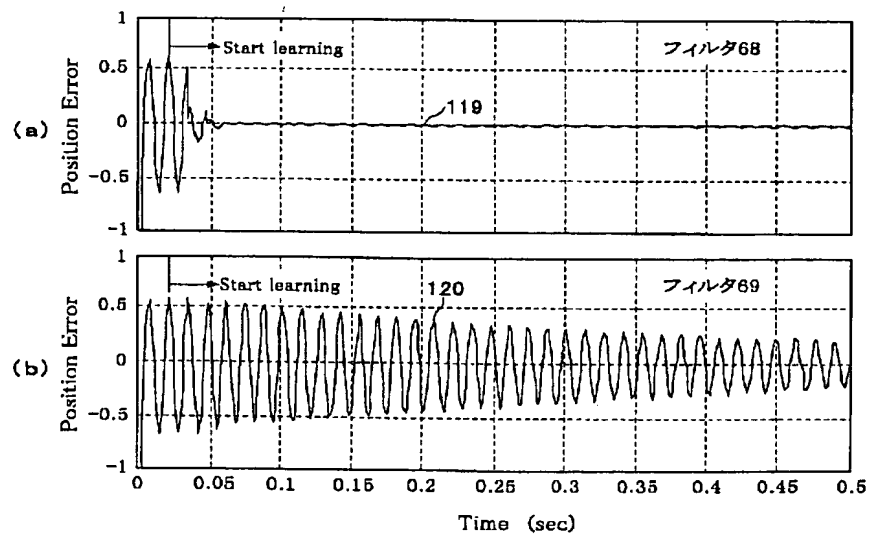
【図 7】



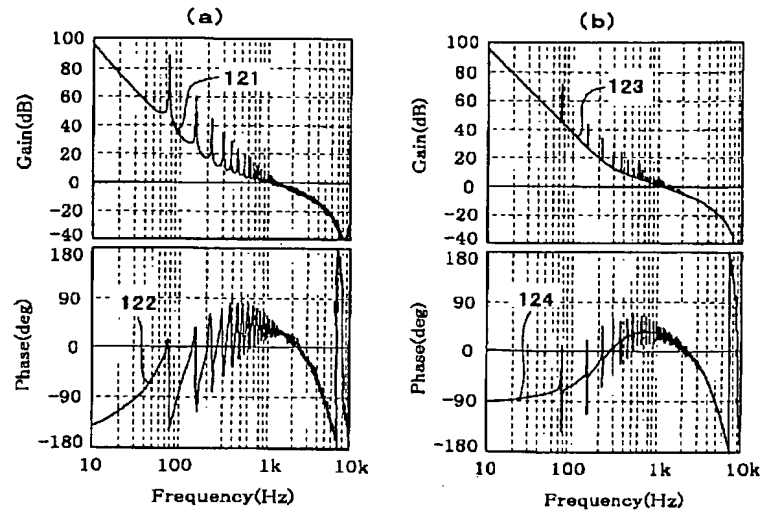
【図 9】



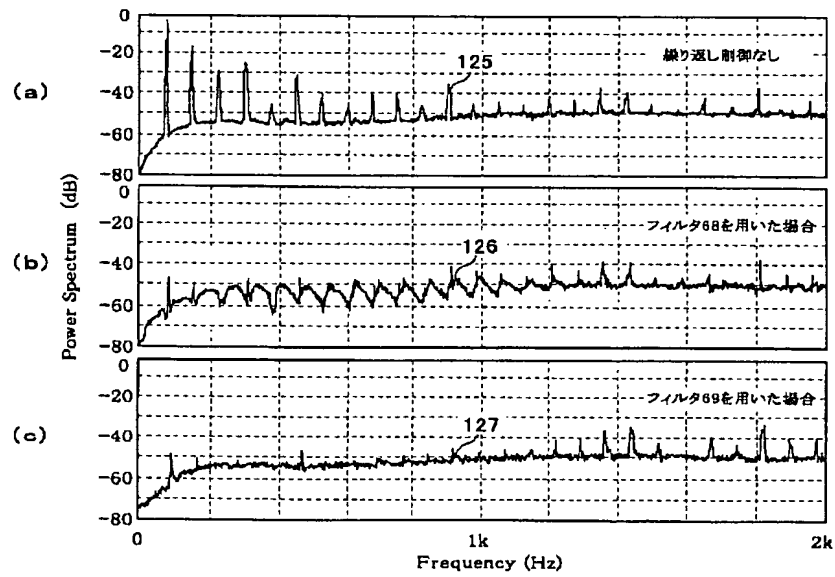
【図 10】



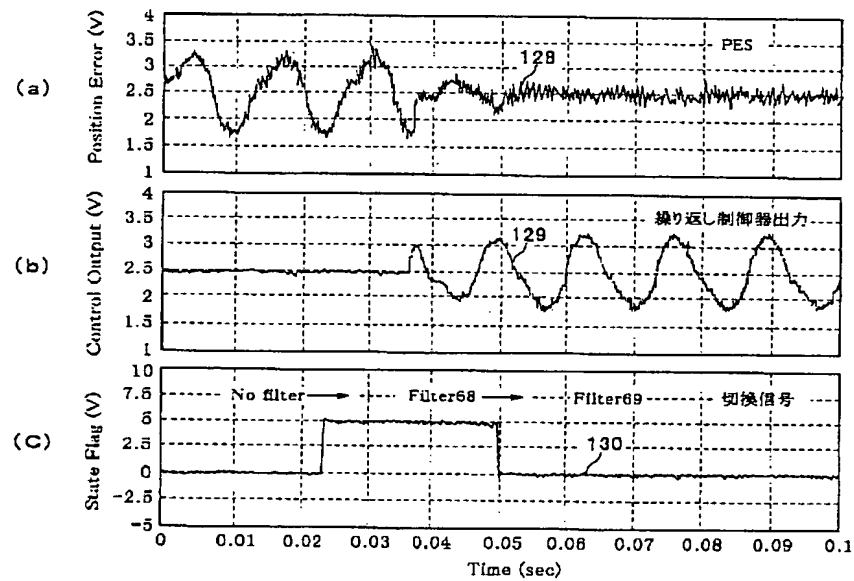
【図11】



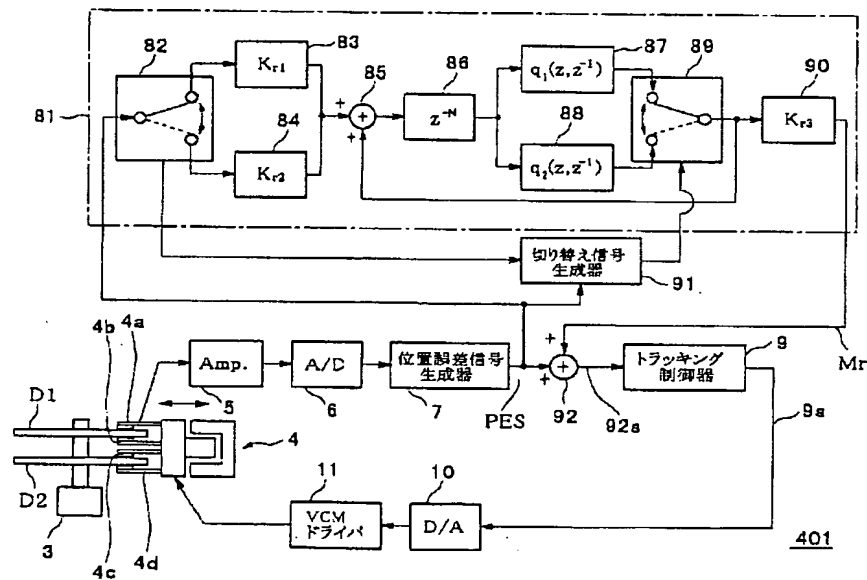
【図12】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁷

G 0 5 D 3/12

識別記号

3 0 5

F I

G 0 5 D 3/12

ターマド* (参考)

3 0 5 V

F ターム (参考) 5D096 AA01 CC01 DD01 DD02 EE01
EE14 FF01 GG06 HH18 KK01
5H004 GA40 GB20 HA07 HB07 JA12
KB33 KD61 LB04 LB05 MA12
5H303 AA22 BB02 BB07 BB14 CC01
DD01 EE03 EE07 FF04 HH02
HH07 KK01 KK07 KK22 KK27
KK35 MM05